

PENGEMBANGAN *TOOL* PEMODELAN GERAK MELINGKAR BERATURAN DENGAN PENGONTROLAN LAJU MOTOR DC BERBANTUKAN ANALISIS VIDEO TRACKER

Cici Putri ¹⁾, Asrizal ²⁾

¹⁾Mahasiswa Fisika, FMIPA Universitas Negeri Padang

²⁾Staf Pengajar Jurusan Fisika, FMIPA Universitas Negeri Padang
ciciputri690@gmail.com, asrizal@fmipa.unp.ac.id

ABSTRACT

The development of technology and information can provide influence on the progress of Science and Technology. Improved science is supported by the role of media and digital technology. Physics is one of the sciences relating to experimental activities. One of interesting is the phenomenon of uniform circular motion. Based on observations were known that the experimental activities use manual tool that have limitations in displaying measurement data. This problem can be solved by modeling tool with video tracker analysis. The purposes of the research were to determine the performance specifications of the uniform circular motion experiment modeling tool, determine the accuracy and precision of controlling the DC motor speed, determine the accuracy and precision of the uniform circular motion modeling tool, determine the parameters of physics and their influences on the experiment of uniform circular motion. This research method was called research and development which is a research method used to validate and develop products. Based the research can describe four results. The first, performance specification consisted of a uniform circular motion modeling tool of 20x20x10 cm by controlling the speed of a DC motor. Second, the accuracy and precision of controlling the DC motor speed with values of 98.85% and 99.35%. Third, the accuracy and precision of the uniform circular motion modeling tool with an accuracy value of 98.67% and precision value of 97.70%. Fourth, the frequency and angular velocity will be greater by using a higher speed value. However, the period value decreases as the speed increases. The influence of physics parameters is done by using variations in speed and radius. Speed is inversely proportional to period. However, speed is directly proportional to frequency and angular velocity. The effect of the radius variation is the centripetal acceleration is directly proportional to the radius.

Keywords : *Uniform circular motion, Speed control, Video analysis, Tracker*



This is an open access article distributed under the Creative Commons 4.0 Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. ©2018 by author and Universitas Negeri Padang.

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi dan informasi abad 21 terjadi sangat pesat. Hal ini ditandai dengan pekerjaan manusia yang manual digantikan oleh mesin atau komputer. Perubahan ini memberikan pengaruh pada kemajuan sains dan teknologi. Peningkatan ilmu pengetahuan didukung oleh peranan media dan teknologi digital. Pentingnya teknologi dalam dunia pendidikan untuk menjamin lahirnya generasi yang mampu berinovasi serta terampil dalam menggunakan teknologi dan media informasi^[1].

Menampilkan fenomena fisika memerlukan media atau alat peraga. Eksperimen dilakukan untuk memperlihatkan fenomena fisika yang dipelajari. Peranan eksperimen dapat membangkitkan motivasi belajar dan kreativitas serta pemahaman teori fisika lebih mendalam pada pembelajaran. Perlunya teknologi informasi dan komunikasi yang dapat menciptakan media interaktif maupun *virtual* sebagai media eksperimen^[2]. Eksperimen yang dilakukan berkaitan dengan sistem pengukuran. Melalui pengukuran diperoleh data terhadap karakteristik yang diukur. Alat ukur yang digunakan dalam melakukan pengukuran harus sesuai dengan besaran yang ingin diukur dan memiliki ketelitian yang baik^[3].

Kegiatan eksperimen terkadang banyak mengalami kendala. Informasi mengenai peralatan eksperimen yang terdapat di laboratorium SMAN 1 Kabupaten Agam melalui diskusi yaitu masih kurangnya peralatan atau alat yang tersedia tidak dapat digunakan, adanya keterbatasan waktu dalam melakukan eksperimen^[4]. Berdasarkan hasil wawancara guru fisika yang tergabung dalam MGMP Fisika Kota Padang dan Kota Padang Panjang ditemukan beberapa kendala kegiatan eksperimen di antaranya kurang atau tidak tersedianya peralatan eksperimen^[5]. Berdasarkan hasil wawancara yang telah dilakukan di dua Sekolah Menengah Atas di Kota Padang, yaitu SMAN 1 Padang dan SMAN 8 Padang. SMAN 1 Kota Padang memiliki alat eksperimen yang tersedia tersebut masih dalam bentuk manual. Pada proses pembelajaran mengenai materi gerak melingkar beraturan alat ini di demonstrasikan guru di kelas. Sementara di SMAN 8 Kota Padang tidak tersedianya alat eksperimen gerak melingkar beraturan.

Mewujudkan kegiatan eksperimen gerak melingkar beraturan dapat dilakukan dengan pengembangan peralatan eksperimen. Pengembangan ini didukung oleh adanya aplikasi *software tracker*. Sistem aplikasi ini yaitu dengan menganalisis sebuah tool pemodelan. Aplikasi ini di rancang untuk pembela-

jaran fisika sebagai salah satu yang kuat dan inovatif menggabungkan sebuah video fenomena fisika dengan model komputer^[6].

Analisis video menggunakan *software tracker* dilakukan untuk mendapatkan keluaran parameter fisika lebih banyak. Parameter fisika tersebut seperti frekuensi, periode, simpangan, kecepatan sudut, dan percepatan sentripetal. Variasi jari-jari dari *tool* pemodelan ini dapat dibuat dengan cara memberi tanda pada lingkaran, selanjutnya untuk analisis dapat menentukan sebuah tanda pada jari-jari yang diinginkan. *Tracker* sebagai salah satu alat dalam pembelajaran fisika karena dapat membantu menguasai dasar-dasar ilmu pengetahuan dan fenomena alam yang terjadi secara terperinci serta mengantarkan konsep-konsep fisika^[4].

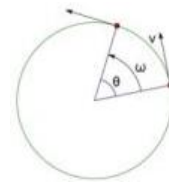
Tracker merupakan sebuah *software* yang digunakan untuk menganalisis video dan *tool* pemodelan. *Software tracker* dibangun oleh *Open Source Physics* dengan *Java* sebagai kerangka kerjanya. Dalam fisika, *tracker* berperan dalam kegiatan eksperimen karena *tracker* digunakan untuk mendapatkan data hasil percobaan. Adapun parameter data hasil percobaan meliputi waktu, posisi, frekuensi, kecepatan dan percepatan. Dari parameter tersebut tampilannya dapat berupa tabel dan grafik^[7].

Penelitian dalam hal kinematika menggunakan *software tracker* dapat memperluas wawasan. Berbagai kegiatan dapat dilakukan pada *tracker* seperti pengukuran hasil dan pengkalibrasi. Pengukuran serta pengkalibrasian kedalam *software* dapat menginterpretasikan data yang dihasilkan berupa grafik dan tabel^[8]. *Tracker* merupakan salah satu *software* yang termasuk *video based laboratory* yang dapat membantu pengembangan kegiatan eksperimen fisika di sekolah yang menjadi perhatian saat ini karena banyaknya kegiatan praktikum dengan alat peraga manual yang tidak terlaksana^[5]. Memperoleh data yang lebih baik dalam kegiatan eksperimen fisika mengenai fenomena gerak *tool* pemodelan harus dirancang dengan baik. Data yang diperoleh melalui *software tracker* lebih akurat. Keakuratan data yang diperoleh dengan menggunakan *tracker* bergantung pada rancangan *tool* pemodelan yang dibuat. Semakin baik hasil *tool* pemodelan yang dibuat maka diperoleh hasil analisis video dengan *software tracker* yang baik^[9].

Gerak melingkar beraturan yaitu sebuah gerak yang lintasannya membentuk suatu lingkaran. Kelajuan dari gerak melingkar beraturan konstan dan dengan arah kecepatan terus berubah namun benda akan tetap bergerak mengelilingi suatu lingkaran tersebut^[10]. Benda akan tetap terus melakukan gerak melingkar beraturan dikarenakan adanya percepatan sentripetal, yang mana gaya ini selalu menarik benda kearah pusat lingkaran. Ciri-ciri dari gerak melingkar beraturan ini yaitu lintasannya berupa lingkaran, kecepatan dan percepatan konstan, mempunyai gaya sentripetal yang berfungsi mempertahankan agar

gerakan tetap pada lintasannya. Gaya sentripetal ini merupakan gaya yang menarik benda yang sedang gerak melingkar kearah pusat lingkaran^[11].

Fenomena gerak melingkar beraturan salah satu materi dasar dalam bidang mekanik. Peran fenomena tersebut sebagai dasar untuk mempelajari konsep fisika lainnya. Contoh fenomena yang dijumpai tersebut diantaranya *compact disc* (CD), putaran roda motor atau mobil, komedi putar, bumi mengelilingi matahari, elektron mengelilingi inti atom dan sebagainya. Berdasarkan proses fenomena gerak melingkar beraturan tersebut, perlu dilakukan pengamatan, pengukuran dan aplikasi gerak melingkar beraturan^[12]. Gerak melingkar beraturan dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Gerak Melingkar Beraturan

Berdasarkan Gambar 1 dapat diperoleh persamaan sebagai berikut :

$$\theta = \omega \cdot t \quad (1)$$

$$v = \omega \cdot R \quad (2)$$

$$a_s = \frac{v^2}{R} \quad (3)$$

Periode merupakan banyaknya waktu yang dibutuhkan dalam satu putaran sempurna. Periode biasanya dilambangkan dengan T dalam satuan sekon^[13]. Persamaan dari periode dapat dinyatakan dalam bentuk sebagai berikut:

$$T = \frac{t}{n} \quad (4)$$

Dengan: T = periode (sekon),

n = banyak putaran per sekon

t = waktu menghasilkan putaran (sekon)

Sebuah benda yang bergerak melingkar beraturan memerlukan waktu untuk menyelesaikan satu putaran yang disebut dengan periode. Jumlah putaran yang terdapat dalam selang waktu tertentu disebut dengan frekuensi. Hubungan antara periode dengan frekuensi berbanding terbalik^[10]. Persamaan dari frekuensi dapat dilihat pada Persamaan 5.

$$f = \frac{1}{T} \quad (5)$$

Dengan: f = frekuensi (Hertz)

T = periode (sekon)

Kecepatan linier merupakan panjang lintasan yang berbentuk lingkaran yang ditempuh dalam selang waktu tertentu. Jarak tempuh dari gerak melingkar beraturan berupa busur lingkaran. Satu putaran penuh benda menempuh lintasan linier sebanyak satu keliling lingkaran dengan jarak kepusat lingkaran sama dengan jari-jari r. Jarak linear yang ditempuh dihubungkan dengan perubahan kecepatan sudut. Persamaan dari kecepatan linear dapat dilihat sebagai berikut :

$$v = \frac{2\pi r}{T} \quad (6)$$

Dengan: v = laju linear (m/s)
 r = jari-jari (m)
 t = waktu tempuh (s)
 T = periode (sekon)

Dalam gerak melingkar beraturan, lintasan yang berupa lingkaran yang mengelilingi busur lingkaran dengan satu titik dan dapat membentuk sebuah sudut. Untuk menempuh satu putaran tiap satuan waktu disebut kecepatan sudut. Kecepatan sudut di lambangkan dengan ω dan satuannya rad/s^[14]. Persamaan dari kecepatan anguler dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \text{ atau } \omega = 2\pi f \quad (7)$$

dengan: ω = kecepatan anguler (rad/s)
 T = periode (s)
 f = frekuensi (Hz)

Percepatan sentripetal adalah percepatan yang arahnya menuju pusat lingkaran. Fungsi percepatan sentripetal oleh gerak melingkar beraturan adalah untuk mengubah arah percepatan. Pada gerak melingkar beraturan kelajuannya tetap tetapi arah berubah-ubah^[14]. Persamaan percepatan sentripetal dapat di lihat sebagai berikut :

$$a_s = \omega^2 r \quad (8)$$

Dengan: a_s = percepatan sentripetal (m/s²)
 ω = kecepatan sudut (rad/s)
 r = jari-jari (m)

Gaya sentripetal merupakan gaya yang bekerja pada dengan arah selalu menuju pusat lingkaran. Fungsi gaya sentripetal dalam gerak melingkar beraturan adalah untuk membuat benda tetap bergerak sesuai arah lintasannya. Gaya sentripetal berbanding langsung dengan kuadrat kecepatan sudut dalam gerak melingkar beraturan^[13]. Secara umum sesuai hukum Newton ke II tentang gerak bahwa:

$$F = ma \quad (9)$$

Untuk percepatan a digunakan percepatan sentripetal a_s , jadi gaya sentripetal dapat dirumuskan pada persamaan 10.

$$F_s = m \frac{v^2}{r} \quad (10)$$

Karena $v = \omega r$, maka untuk persamaan gaya sentripetal menjadi :

$$f_s = m\omega^2 r \quad (11)$$

Dengan f_s = percepatan sentripetal
 m = massa benda (kg)
 ω = kecepatan sudut (rad/s)
 r = jari-jari (m)

Motor listrik merupakan sebuah perangkat elektromagnetis yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Motor DC adalah listrik dengan arus searah yang digunakan untuk keperluan yang membutuhkan pengaturan kecepatan. Motor DC memiliki kumparan satu lilitan yang dapat berputar bebas diantara kutub magnet permanen^[15].

Sistem kontrol merupakan suatu hubungan antar komponen pembentuk konfigurasi sistem yang menyediakan suatu umpan balik yang sesuai dengan yang diharapkan. Tujuan pengontrolan untuk mengaktifkan dan menonaktifkan peralatan elektronika^[12]. Kontrol laju motor DC dengan menggunakan metode *Pulse Width Modulation* (PWM). Metode PWM merupakan sebuah metode untuk membangkitkan sebuah tegangan analog dari sebuah nilai digital. Siklus kerja menunjukkan blok waktu sinyal pada kondisi logika *high* dalam satu siklus^[16].

Arduino uno merupakan board mikrokontroler berbasis ATmega328 dan bersifat *open source*. Arduino uno mempunyai mempunyai 14 pin digital input atau pin output (6 pin dapat digunakan sebagai output PWM), 6 input analog, resonator keramik 16 MHz, koneksi USB, Jack listrik, header ICSP dan tombol reset. Catu daya dari arduino uno ini dapat menggunakan power USB apabila terhubung ke komputer dengan kabel USB^[17].

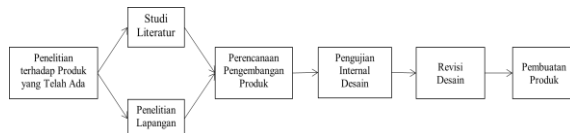
Driver motor L298 menggunakan IC L298 sebagai *driver* motor DC. Prinsip dari modul dari *driver* ini menggunakan prinsip yang sama dengan prinsip kerja H-Bridge. Pengontrolan tiap H-Bridge menggunakan level TTL (Transistor-transistor Logic) yang berasal dari output mikrokontroler yang digunakan^[16].

LCD (*Liquid Crystal Display*) yaitu salah satu jenis display elektronika yang dapat digunakan untuk menampilkan sebuah data. LCD terdiri dari campuran organik antara lapisan kaca bening dengan elektroda transparan indium oksida dalam bentuk tampilan *seven-segment* dan lapisan elektroda pada kaca belakang. Ketika elektroda di aktifkan dengan medan listrik (tegangan), molekul organik yang panjang dan silindris menyesuaikan diri dengan elektroda dari segmen. Cahaya yang dipantulkan tidak melewati molekul-molekul yang telah menyesuaikan diri dan segmen yang diaktifkan terlihat menjadi gelap dan membentuk karakter data ditampilkan^[18].

Keypad merupakan sebuah perangkat elektronika berbasis mikrokontroler yang banyak dijumpai. Pada penelitian ini menggunakan *keyoad* matriks 4x4 yang sering digunakan oleh pemrogram. Kelebihan dari *keypad* ini yaitu hardwarenya mudah dan *software* juga tidak rumit.

METODE PENELITIAN

Berdasarkan masalah yang dikemukakan, penelitian ini tergolong penelitian dan pengembangan (*Research and Developmnet*). Penelitian dan pengembangan bertujuan untuk memvalidasi dan mengembangkan produk^[19]. Prosedur penelitian dan pengembangan yang dilakukan dapat pada Gambar 2.



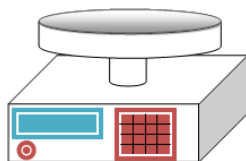
Gambar 2. Prosedur Penelitian R&D

Penelitian terhadap produk yang telah ada yaitu penelitian yang dilakukan oleh Wijayanto dan Susilawati (2015) yang berjudul Rancangan Kinetika Gerak Menggunakan Alat Eksperimen Air Track untuk Media Pembelajaran Fisika Berbasis Video. Metodologi dari penelitian ini adalah menggunakan *software* video analisis untuk pembelajaran fisika. Penelitian ini mengkombinasikan antara peraga, video dan *software* video analisis dalam menanamkan konsep gerak sesuai dengan tingkatan siswa. Alat praktikum eksplorasi gerak lurus beraturan memadai dipakai sebagai alat eksperimen dalam pembelajaran fisik.

Literatur yang dipelajari dalam penelitian ini bertujuan untuk memperoleh pemahaman secara teoritis. Berdasarkan literatur dapat yang digunakan, dapat mendukung pengembangan eksperimen gerak melingkar beraturan dengan pengontrolan laju motor DC berbantuan analisis video *tracker*. Literatur tersebut meliputi eksperimen, gerak melingkar beraturan, analisis video dan pengontrolan laju motor.

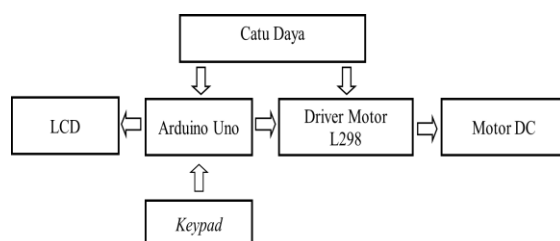
Penelitian lapangan yaitu berdasarkan hasil wawancara yang telah dilakukan di dua Sekolah Menengah Atas di Kota Padang. SMAN 1 Kota Padang alat eksperimen gerak melingkar beraturan masih dalam bentuk manual. Sementara di SMAN 8 Kota Padang tidak tersedia alat eksperimen gerak melingkar beraturan.

Pada tahap perencanaan pengembangan produk hasil akhirnya berupa produk baru yang lengkap dengan spesifikasinya. Wujud dari desain produk ini terdiri atas sebuah kotak dan piringan. Bentuk desain mekanik produk dapat diperlihatkan Gambar 3.



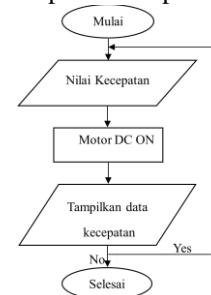
Gambar 3. Desain Produk

Dari Gambar 3 dapat diuraikan bagian luar kotak terdapat LCD sebagai tampilan. Input data dapat melalui keypad. Blok diagram dari pembuatan *tool* pemodelan GMB dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Blok Diagram *Tool* Pemodelan GMB

Berdasarkan Gambar 4 dapat dijelaskan bahwa catu daya diperlukan untuk mengaktifkan rangkaian elektronika. Sensor *optocoupler* mendeteksi kelajuan dari motor DC yang dikirim ke Arduino Uno. Keypad sebagai input nilai kelajuan yang akan dikirim ke arduino uno. Arduino Uno akan menerima input kecepatan dari sensor *optocoupler* melalui keypad. Adapun rancangan *software tool* pemodelan GMB dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Flowchart Sistem Pengontrolan Laju

Gambar 5 merupakan *flowchart* sistem pengontrol laju yang dapat diuraikan bahwa pada mula alat dioperasikan, inputkan besar nilai kelajuan melalui keypad. Nilai kecepatan yang di input akan memberi umpan sehingga motor DC akan bergerak pada kecepatan yang sesuai dengan yang dimasukkan. Saat motor on sensor aktif dan mengirim sinyal ke arduino untuk diproses. Tampilan data nilai kelajuan terdapat pada LCD.

Uji validasi yang dilakukan pada pengujian desain dari *tool* pemodelan eksperimen gerak melingkar beraturan. Pengujian internal desain menentukan alat tersebut lebih praktis, efektif dan efisien. Uji validasi dilakukan oleh para ahli. Melalui validasi oleh tenaga ahli yang telah dilakukan diperoleh nilai yang validasi tinggi.

Melalui validasi desain, terdapat beberapa saran untuk memperbaiki desain agar lebih baik. Saran tersebut diantaranya buat tanda-tanda terhubung dengan blok diagram, tempatkan keterangan pada diagram alir dengan tepat, diperlukan data-data ukuran kotak rangkaian dan piringan yang digunakan dan bedakan kotak rangkaian dengan *tool* pemodelan.

Produk yang dibuat terdiri atas sebuah kotak dengan sebuah piringan. Pembuatan alat eksperimen gerak melingkar beraturan dengan pengontrolan laju motor DC ini membutuhkan sensor *optocoupler* untuk pengontrolannya. Bentuk desain mekanik *tool* pemodelan eksperimen gerak melingkar beraturan ditunjukkan oleh Gambar 6.



Gambar 6. Desain Mekanik *Tool* Pemodelan

Berdasarkan Gambar 6 dapat dilihat bentuk dari produk *tool* pemodelan gerak melingkar beraturan.

turan. Kotak yang berwarna hitam tersebut berfungsi sebagai penyimpan rangkaian elektronika dan untuk peletakan *keypad*, LCD, sensor *optocoupler* dan piringan. Piringan yang berwarna merah berfungsi sebagai *tool* pemodelan gerak melingkar beraturan. Pada piringan tersebut terdapat variasi jari-jari untuk dianalisis pada *software tracker*.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Alat eksperimen gerak melingkar beraturan ini mempunyai beberapa bagian instrumen. Bagian tersebut memiliki fungsi sesuai dengan spesifikasinya. Menentukan akurasi dari alat eksperimen gerak melingkar beraturan ini menggunakan alat ukur standar. Sementara menentukan ketelitian dari alat eksperimen gerak melingkar beraturan dilakukan dengan melakukan pengukuran berulang sebanyak sepuluh kali. Penyajian data yang diperoleh dapat dinyatakan dalam bentuk tabel dan grafik.

Spesifikasi performansi *tool* pemodelan ini terdiri atas desain mekanik, pengontrolan dan perangkat lunak yang digunakan. Adapun bagian spesifikasi dari *tool* pemodelan ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Desain Mekanik Tool Pemodelan

Gambar 7 menunjukkan desain mekanik alat eksperimen gerak melingkar beraturan. Alat eksperimen ini di desain dengan sedemikian rupa agar mudah dalam memahami pembuatannya. Kotak yang digunakan berukuran 20x20x10 cm untuk menyimpan rangkaian elektronika. Pada bagian depan kotak di pasang *keypad* dan LCD. Bagian atas kotak terdapat piringan yang terpasang pada motor DC.

Piringan digunakan sebagai sebuah media dari pergerakan motor DC. Tujuannya untuk dapat memperlihatkan simulasi terjadinya gerak melingkar beraturan. Piringan tersebut terbuat dari bahan akrilik dengan diameter 15 cm dan ketebalan 3 mm. Sensor *Optocoupler* sebagai pembaca jumlah kecepatan yang dihasilkan dari pengontrolan.

Rangkaian elektronika berfungsi menghubungkan antara komponen satu dengan yang lain. Rangkaian ini didesain sedemikian rupa agar mudah dipahami. Adapun rangkaian elektronika tersebut ditunjukkan pada Gambar 8.



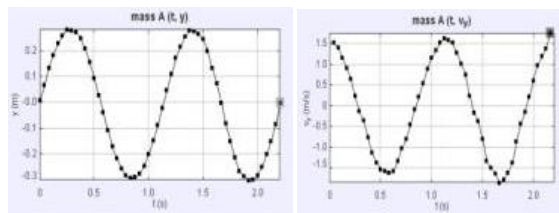
Gambar 8. Rangkaian Elektronika Tool Pemodelan

Gambar 8 dapat ditunjukkan bahwa terdapat beberapa komponen elektronika yang digunakan pada rangkaian dari *tool* pemodelan eksperimen gerak melingkar beraturan. Bagian-bagian tersebut terdiri atas *keypad*, *driver* L298N, arduino uno, LCD, motor DC, dan sensor *optocoupler*. Rangkaian tersebut terhubung dengan *power supply* 12 volt.

Data hasil ketepatan dari pengontrolan laju motor DC diperoleh dari perbandingan pengukuran dari motor dengan pengukuran alat ukur standar (*tachometer*). Ketepatan rata-rata hasil pengukuran motor DC 98,85% dengan persentase kesalahan 1,14%. Ketelitian pengontrolan laju motor DC ditentukan dengan pengukuran berulang sebanyak 10 kali. Pengukuran ketelitian dilakukan dengan memvariasikan beberapa nilai kelajuan yaitu 60 rpm, 80 rpm dan 100 rpm. Pengontrolan laju motor memiliki ketelitian yang cukup tinggi. Nilai yang diperoleh setiap pengukuran adalah konstan. Nilai ketelitian yang diperoleh yaitu sebesar 99,35%. Sementara data resolusi dari pengontrolan laju motor DC didapatkan dari beberapa variasi kelajuan. Melalui hasil perbandingan tersebut didapatkan rentang resolusi dari pengontrolan laju motor DC. Rentang data motor dengan kelajuan 50 rpm sampai dengan 140 rpm memiliki resolusi pengontrolan yang baik dan stabil.

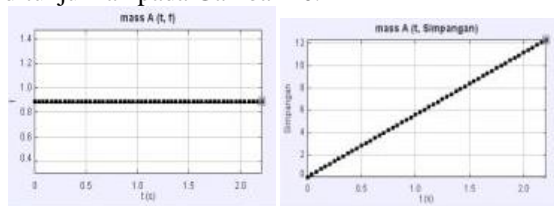
Data hasil pengukuran ketepatan dari *tool* pemodelan gerak melingkar beraturan diperoleh dari perbandingan antara hasil analisis *tracker* dengan hasil perhitungan teoritis. Data ketepatan dilakukan dengan 10 variasi kelajuan. Pengukuran yang dilakukan memperoleh ketepatan rata-rata sebesar 98,97%. Persentase kesalahan yang diperoleh sebesar 1,01%. Hal ini menunjukkan bahwa *tracker* dapat membuktikan nilai yang di analisis tidak jauh berbeda dengan nilai perhitungan rumus. Data ketelitian diperoleh dari pengukuran secara berulang. Pengukuran berulang dilakukan sebanyak 10 kali dengan 3 variasi kelajuan. Ketelitian rata-rata yang diperoleh dari 10 kali pengukuran berulang adalah sebesar 98,12%.

Penentuan besaran fisika pada *tool* pemodelan gerak melingkar beraturan yaitu pada periode, frekuensi, dan simpangan. Grafik yang ditampilkan berupa grafik perubahan pada posisi pada sumbu y, perubahan kelajuan pada sumbu y, frekuensi dan simpangan terhadap waktu. Terdapat tiga variasi kelajuan diantaranya kelajuan 55 rpm, 75 rpm dan 95 rpm. Pada penentuan besaran fisika, nilai kelajuan yang digunakan 55 rpm dan jari-jari 3 cm. Lintasan gerak melingkar beraturan di analisis dengan *software tracker*. Hasil analisis tersebut akan menampilkan grafik terhadap sumbu y. Adapun bentuk grafik tersebut ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. (a) Perubahan Posisi pada Sumbu-y Kelajuan 55 rpm (b) Perubahan Kelajuan pada Sumbu-y

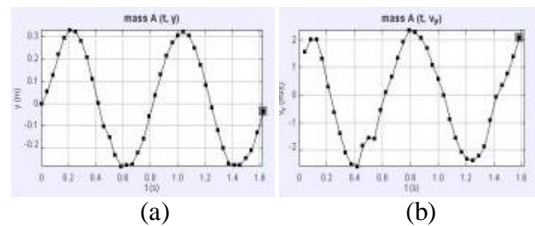
Berdasarkan Gambar 9 (a) dapat dilihat grafik perubahan posisi pada sumbu-y kelajuan 55 rpm membentuk gelombang sinusoidal. Pada grafik tersebut jumlah putaran yang dilakukan sebanyak 2 kali putaran. Waktu yang dibutuhkan untuk melakukan 2 putaran tersebut sebesar 2,207 dan nilai periode yaitu sebesar 1,124 s. Gambar 9 (b) merupakan grafik perubahan kelajuan pada sumbu-y. Gerak pada sumbu-y berbentuk gerak melingkar beraturan karena kelajuan tetap akan tetapi arahnya berubah sesuai lintasannya. Adapun grafik kecepatan sudut dan simpangan dari hasil analisis video *tracker* dapat ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. (a) Frekuensi terhadap Waktu (b) Simpangan terhadap Waktu

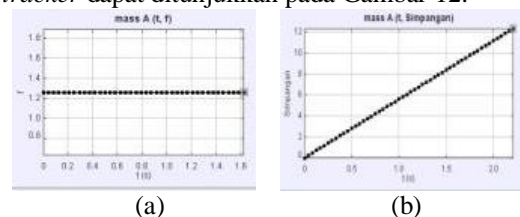
Gambar 10 (a) merupakan grafik frekuensi terhadap waktu dapat dilihat grafik perubahan posisi pada sumbu-y kelajuan 55 rpm membentuk gelombang sinusoidal. Pada grafik, jumlah putarannya 2 kali putaran. Waktu yang dibutuhkan untuk melakukan 2 putaran tersebut sebesar 2,207 s. Sementara untuk nilai periode yaitu sebesar 1,124 s. Disisi lain, Gambar 10 (b) grafik hasil analisis simpangan terhadap waktu. Hubungan simpangan dengan waktu berbanding lurus. Semakin besar waktu untuk melakukan sebuah putaran, maka semakin besar nilai simpangan yang dihasilkan.

Pada kelajuan 75 rpm ini dengan jari-jari yang ditetapkan sebesar 3 cm, lintasan gerak melingkar beraturan di analisis dengan *software tracker*. Hasil analisis tersebut akan menampilkan grafik terhadap sumbu y. Adapun bentuk grafik tersebut ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11. (a) Perubahan Posisi pada Sumbu-y Kelajuan 75 rpm (b) Perubahan Kelajuan pada Sumbu-y

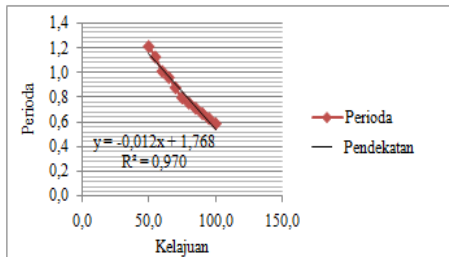
Berdasarkan Gambar 11 (a) dapat dideskripsikan bahwa grafik perubahan posisi pada sumbu-y dengan kelajuan 75 rpm membentuk gelombang sinusoidal. Jumlah putaran pada grafik tersebut yaitu sebanyak 2 kali putaran. Waktu yang dibutuhkan untuk melakukan 2 putaran tersebut yaitu sebesar 1,624 s. Nilai periode yang digunakan pada saat kelajuan 75 rpm yaitu sebesar 0,793 s. Sedangkan Gambar 11 (b) merupakan grafik perubahan kelajuan pada sumbu-y. Gerak pada sumbu-y berbentuk gerak melingkar beraturan karena kelajuan tetap akan tetapi arahnya berubah. Arah gerakannya sesuai dengan lintasannya. Disisi lain, terdapat grafik frekuensi dan simpangan dari hasil analisis video *tracker* dapat ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 12. (a) Frekuensi terhadap Waktu (b) Simpangan terhadap Waktu

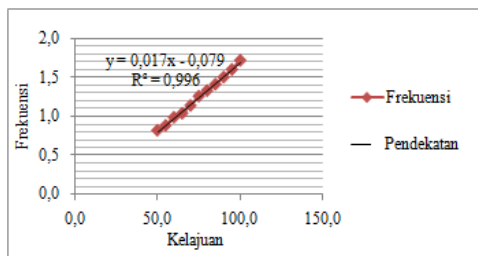
Berdasarkan Gambar 12 (a) grafik frekuensi terhadap waktu dapat dijelaskan bahwa nilai frekuensi konstan terhadap waktu. Nilai frekuensi yang didapat adalah sebesar 1,261 Hz. Sementara, Gambar 12 (b) grafik hasil analisis simpangan terhadap waktu. Hubungan simpangan dengan waktu berbanding lurus. Semakin besar waktu untuk melakukan sebuah putaran, maka semakin besar nilai simpangan yang dihasilkan.

Besaran fisika pada eksperimen gerak melingkar beraturan saling berhubungan satu sama lain. Hubungan antar besaran tersebut dapat memberikan pengaruh diantaranya. Adapun pengaruh kelajuan terhadap besaran fisika yaitu periode dan frekuensi. Hasil analisis pengaruh kelajuan terhadap periode yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 13



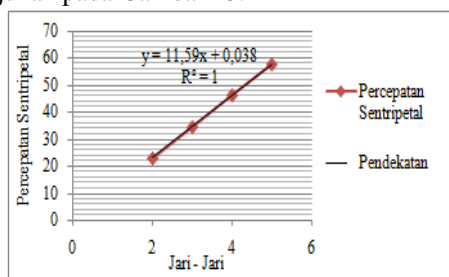
Gambar 13. Pengaruh Kelajuan terhadap Periode

Berdasarkan Gambar 13 dapat dijelaskan bahwa pengaruh kelajuan terhadap periode berbanding terbalik. Sama dengan waktu yang digunakan saat melakukan putaran. Pengaruhnya semakin besar kelajuan, maka semakin sedikit waktu satu putaran yang digunakan. Grafik pengaruh kelajuan terhadap frekuensi dapat diperhatikan pada Gambar 14.



Gambar 14. Pengaruh Kelajuan terhadap Periode

Berdasarkan Gambar 14 ditunjukkan bahwa pengaruh kelajuan terhadap frekuensi berbanding lurus. Semakin besar nilai kelajuan, maka semakin tinggi nilai frekuensi yang dihasilkan. Selain kelajuan, variasi nilai jari-jari dapat memberikan pengaruh terhadap besaran fisika. Variasi jari-jari yang dilakukan sebanyak 5 buah variasi akan memberikan pengaruh pada besaran fisika yaitu percepatan sentripetal. Grafik pengaruh besaran fisika tersebut ditunjukkan pada Gambar 15.



Gambar 15. Pengaruh Kelajuan terhadap Percepatan Sentripetal

Gambar 15 merupakan grafik dari pengaruh jari-jari terhadap percepatan sentripetal. Sebanyak 4 buah variasi nilai jari-jari yang masing-masing berjarak jari-jari sebesar 1 cm. Kelajuan berpengaruh terhadap percepatan sentripetal yaitu berbanding lurus. Semakin besar nilai jari-jari yang digunakan, maka semakin besar percepatan sentripetalnya.

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan dapat memberikan hasil penelitian yang sesuai dengan

tujuan penelitian. Analisis yang dilakukan secara grafik maupun statistik. Hasil penelitian yang diperoleh yaitu spesifikasi performansi *tool* pemodelan gerak melingkar beraturan, ketepatan dan ketelitian pengontrolan laju motor DC, ketepatan dan ketelitian *tool* pemodelan gerak melingkar beraturan, penentuan dan pengaruh besaran fisika pada eksperimen gerak melingkar beraturan.

Hasil pertama yang dicapai yaitu spesifikasi performansi *tool* pemodelan gerak melingkar beraturan yang terdiri atas kotak yang berukuran 20x20x10 cm dilengkapi piringan dengan diameter 15 cm. Pengontrolan laju motor DC menggunakan arduino uno serta *driver* motor L298N dengan metode PWM (*Pulse Width Modulation*). Konsep PWM pada *driver* motor DC adalah mengatur lebar sisi positif dan negatif pulsa. Semakin lama motor DC pada posisi positif maka kelajuan motor akan semakin besar^[16].

Hasil dari spesifikasi performansi *tool* pemodelan ini dapat menjelaskan karakteristik gerak melingkar beraturan. Alat eksperimen ini terdiri atas piringan dengan ketebalan 3 mm. Piringan tersebut digerakkan oleh motor DC. Pada piringan dapat divariasikan jari-jari dengan memberi beberapa penanda yang warnanya kontras dengan piringan. Pergerakan dari piringan membentuk gerak melingkar beraturan. Jari-jari yang sekaligus dijadikan sebagai objek yang bergerak menunjukkan fenomena gerak melingkar beraturan. Melalui *tool* pemodelan eksperimen gerak melingkar beraturan dapat dibuktikan karakteristik gerak melingkar beraturan^[11].

Hasil kedua yang dicapai adalah ketepatan dan ketelitian pengontrolan laju motor DC. Nilai ketepatan pengukuran pengontrolan laju motor DC yaitu membandingkan data yang terukur dengan alat standar (*tachometer*) diperoleh persentase ketepatan rata-rata sebesar 98,85%. Nilai ketelitian diperoleh dari pengukuran berulang dengan persentase ketelitian rata-rata sebesar 98,54%. Hasil ketepatan dan ketelitian pengontrolan laju motor DC sangat baik. Pengontrolan laju motor DC menggunakan metode PWM dilakukan dengan mengubah nilai frekuensi agar dapat mengontrol kecepatan dengan baik^[20].

Hasil ketiga yang dicapai yaitu ketepatan dan ketelitian *tool* pemodelan gerak melingkar beraturan. Nilai ketepatan dan ketelitian diperoleh dari perbandingan hasil analisis menggunakan *software tracker* dengan perhitungan menggunakan rumus. Rumus yang digunakan adalah rumus frekuensi, simpangan, kecepatan sudut dan percepatan sentripetal. Berdasarkan rumus yang digunakan diperoleh hasil parameter fisika dengan nilai ketepatan dan ketelitian yang tinggi. Melalui hasil ketepatan dan ketelitian dari *tool* pemodelan dapat disimpulkan bahwa menggunakan *tracker* dapat menganalisis kuantitas fisika selama objek yang terekam dalam video dapat mengamarkan suatu proses fisika yang terjadi^[20].

Hasil keempat yang dicapai yaitu penentuan dan pengaruh besaran fisika pada eksperimen gerak

meltingkar beraturan. Pada percobaan penentuan besaran fisika pada eksperimen gerak meltingkar beraturan variasi kelajuan yang digunakan adalah 55 rpm, 75 rpm dan 95 rpm. Besaran fisika yang dianalisis diantaranya adalah frekuensi, kecepatan sudut dan simpangan. Nilai frekuensi dan kecepatan sudut akan semakin besar dengan menggunakan nilai kelajuan yang semakin tinggi. Namun, untuk nilai periode semakin kecil seiring dengan bertambahnya nilai kelajuan. Sementara pengaruh besaran fisika pada eksperimen gerak meltingkar beraturan dilakukan dengan memvariasikan kelajuan dan jari-jari. Pengaruh kelajuan terhadap waktu dan periode adalah berbanding terbalik. Semakin tinggi nilai kelajuan, maka semakin rendah waktu yang digunakan dan periode yang dihasilkan. Pengaruh kelajuan terhadap frekuensi dan kecepatan sudut berbanding lurus. Variasi jari-jari berpengaruh terhadap percepatan sentripetal. Semakin besar jari-jari maka semakin besar nilai percepatan sentripetal yang dihasilkan. Fungsi percepatan sentripetal oleh gerak meltingkar beraturan adalah untuk mengubah arah percepatan. Pada gerak meltingkar beraturan kelajuannya tetap tapi arah berubah^[14].

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis data serta pembahasan terhadap instrumen eksperimen gerak meltingkar beraturan dengan pengontrolan laju motor DC ini maka dapat dirumuskan beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil spesifikasi performansi *tool* pemodelan eksperimen gerak meltingkar beraturan terdiri atas kotak berukuran 20x20x10 cm dan sebuah piringan dengan diameter 15 cm. Rangkaian pengontrol laju motor DC terdiri atas sensor *optocoupler* arduino uno, driver L298, *keypad* dan LCD.
2. Hasil pengontrolan laju motor DC pada *tool* pemodelan gerak meltingkar beraturan terdiri dari ketepatan dan ketelitian. Nilai ketepatan yang diperoleh adalah 98,85% dan nilai ketelitian yang diperoleh adalah 98,82%. Berdasarkan hasil tersebut, pengontrolan laju motor DC cukup akurat. Resolusi pengontrolan laju yang stabil pada rentang kelajuan 50 rpm sampai dengan 140 rpm.
3. Hasil analisis pada *tool* pemodelan gerak meltingkar beraturan terdiri dari ketepatan dan ketelitian. Nilai ketepatan yang diperoleh adalah 98,67% dengan persentase kesalahan 1,31%. Di sisi lain nilai ketelitian yang diperoleh adalah 97,70% dengan kesalahan relatif 2,22%. Berdasarkan hasil tersebut, menggunakan *tracker* dapat menganalisis kuantitas fisika selama objek yang terkam mengalami pergerakan.
4. Penentuan besaran yaitu frekuensi, simpangan dan kecepatan sudut akan semakin besar dengan menggunakan nilai kelajuan tinggi. Namun, nilai periode semakin kecil seiring dengan bertambahnya nilai kelajuan. Kelajuan berpengaruh waktu,

periode, frekuensi dan kecepatan sudut. Jari-jari berpengaruh terhadap percepatan sentripetal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Wijaya, Etistika Yuni dkk. 2016. Transformasi Pendidikan Abad 21 sebagai Tuntutan Pengembangan Sumber Daya Manusia di Era Global. *Prosiding Seminar Nasional Pendidikan Matematika*. Volume 1
- [2] Siahaan, Mardianto Markos. 2012. Penggunaan Teknologi Informasi dan Komunikasi Dalam Pembelajaran Fisika. *Prosiding Seminar Nasional Fisika*
- [3] Humairah, Rani, Asrizal, Zulhendri Kamus. 2016. Pembuatan Sistem Pengukuran Besaran Gerak Lurus Berbasis Personal Komputer Menggunakan Sensor Optocoupler. *Pillar of Physics*. Vol 7, 65-71
- [4] Asrizal, Yohandri, Zulhendri Kamus. 2018. Studi Hasil Pelatihan Analisis Video dan Tool Pemodelan Tracker pada Guru MGMP Fisika Kabupaten Agam. *Jurnal Eksakta Pendidikan*. Volume 2. No.1
- [5] Yulkifli dan Ramli. 2018. The Use of Tracker Application to Enhance Physics Teachers in Senior High School in Making Laboratory Video. *Pelita Eksakta*, Vol.01, No.01
- [6] Gregario, Jay B. (2015). *Using Analysis Micro computer Based Laboratories (MBL's) and Educational Simulations as Pedagogical Tools in Revolutionizing Inquiry Science Teaching and Learning*. K-12 STEM Education
- [7] Pujiyono, 2018. Penerapan Model Pembelajaran Inkuiri Terbimbing Dengan Aplikasi Tracker Untuk Meningkatkan Aktivitas Dan Hasil Belajar Materi Kinematika Gerak Lurus Pada Kelas X MIPA SMA. Yogyakarta. *Seminar Nasional Quantum #252477- 1511 (7pp)*
- [8] Habibulloh, Muhammad dan Madlazim. 2012. Penerapan Metode Analisis Video Software Tracker dalam Pembelajaran Fisika Konsep Gerak Jatuh Bebas untuk Meningkatkan Keterampilan Proses Siswa Kelas X Sman 1 Sooko Mojokerto. *Jurnal Pendidikan Fisika dan Aplikasinya*. Vol 4 No.1
- [9] Wee, Loo Kang, et al. (2012). *Using Tracker as a Pedagogical Tool for Understanding Projectile Motion*. *Physics Education Journal*, P 448-455
- [10] Giancoli, Douglas C. 1999. *Principles of Physics Fifth Edition*. Jakarta: Erlangga
- [11] Gowri, P, dkk. 2018. A Study on Circular Motion and Its Applications. *IOSR Journal of Mathematics*. Volume 14, Issue 6 Ver. II PP 18-25
- [12] Asrizal, Yulkifli, Melvia Sovia. 2012. Penentuan Karakteristik Sistem Pengontrolan Kelajuan Motor DC dengan Sensor Optocoupler Ber

- basis Mikrokontroler AT89S52. *Jurnal Otomasi Kontrol dan Instrumentasi*. Vol 4 (1)
- [13] Wardanik, Tri. 2009. *Pembelajaran Fisika dengan Metode Direct Intruction (DI) Ditinjau dari Kemampuan Awal Matematika Siswa pada Pokok Bahasan Gerak Melingkar Beraturan di SMA Tahun 2008/2009*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret
 - [14] Ardianti, Amelia Rizki. 2016. *Analisis Tingkat Pemahaman Dan Miskonsepsi Fisika Pada Materi Gerak Melingkar Beraturan Di SMK Muhammadiyah Kudus*. Semarang: Universitas Negeri Semarang
 - [15] Khumaedi, 2014. Otomatisasi Pengereman Motor DC Secara Elektris Sebagai Referensi Sistem Keamanan Mobil Listrik. *Jurnal Reka yasa dan Teknologi Elektro*. Vol.8. No.1
 - [16] Hidayati, 2017. *Pengaturan Kecepatan Motor DC dengan Menggunakan Mikrokontroler At mega 8535*. Balikpapan: Politeknik Balikpapan
 - [17] Herananda, Alfian Lantoni. 2016. *Prototype Alat Bantu Parkir Mobil Berbasis Sensor Ultra sonik Ping dan Mikrokontroler Arduino UNO*. Yogyakarta: UIN Sunan Kalijaga
 - [18] Yuliza. 2015. Robot Pembersih Lantai Berbasis Arduino Uno dengan Sensor Ultrasonik. *Jurnal Teknologi Elektro, Universitas Mercu Buana*. Vol. 6. No. 3.
 - [19] Sugiyono, 2017. *Metode Penelitian dan Pengembangan (Reseach and Develpoment)*. Bandung: Alfabeta
 - [20] Aravind, Vasudeva Rao. 2016. *Video and Multi media in Physics Education*. Clarion University. Vol 1, Issue 1